

秦岭造山带泥盆系(陕西段)主要金矿床 地球物理地球化学异常特征及找矿标志①

王瑞廷

摘 要 以构造控矿和热液喷流沉积加后期改造的成矿观点,对秦岭造山带泥盆系(陕西段)主要层控金矿床的地球物理地球化学异常特征进行总结,从矿床地质分析入手,在充分认识泥盆系金矿成矿规律的基础上,提出该类金矿床的综合找矿标志。

关键词 秦岭泥盆系;层控金矿床;地球物理异常;地球化学异常;找矿标志

CHARACTERISTICS OF GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL ANOMALIES IN MAIN GOLD DEPOSITS OF DEVONIAN STRATA ALONG THE QINLING OROGENIC BELT(SHAANXI PART) AND INDICATORS FOR PROSPECTING

Wang Ruiting

(Graduate School of China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract There exist plentiful stratiform and stratabound metallic deposits in the Devonian strata of Qinling region along the boundary of Shaanxi Province. Under the guidance of the viewpoint that the structure clearly controls gold deposits and that paleoalteration is superimposed upon hydrothermal solution exhalative-sedimentation, this paper sums up characteristics of geophysical and geochemical anomalies of the main Devonian stratabound gold deposits in the Qinling orogenic belt of Shaanxi Province. Moreover, based on an analysis of the deposits geology and the metallogenic regularity of the Devonian stratabound gold deposits, this paper points out the indicators for prospecting of the Devonian stratabound gold deposits in this region.

Key words Devonian strata in Qinling region; stratabound gold deposits; geophysical anomaly; geochemical anomaly; indicators for prospecting

秦岭造山带是我国南北地质衔接和东西地质转化的枢纽部位,在中国大陆的形成和演化中占有重要地位。其泥盆系地层分布面积最广,占秦岭各地层出露面积的1/4,是我国多(贵)金属矿床的重要产出层位,秦岭泥盆系层控成矿带就位于其中。该成矿带陕西段成矿条件良好、矿产丰富,其中Pb, Zn, Au, Hg, Ag, Sb, Mo, Fe等金属

矿床为数众多，是省内重要的金属成矿带，找矿前景广阔。本文在省内秦岭泥盆系现有的航磁、重力及区域化探等资料的基础上，结合典型金矿床的综合研究，对区内主要金矿床的地球物理、地球化学异常特征进行总结分析和对比，探讨其成矿规律与找矿标志。

1 成矿带区域地质及地球物理场地球化学场特征

1.1 区域地质

秦岭泥盆系大体呈东西向展布，局部地段受构造应力影响略呈北西向。研究区东起商南县，西至凤县，北到太白县—牧护关—铁炉子一线，南达旬阳、汉阴县一带，总面积约4.1万 km²，为陕西泥盆系的主要分布区(图1)。

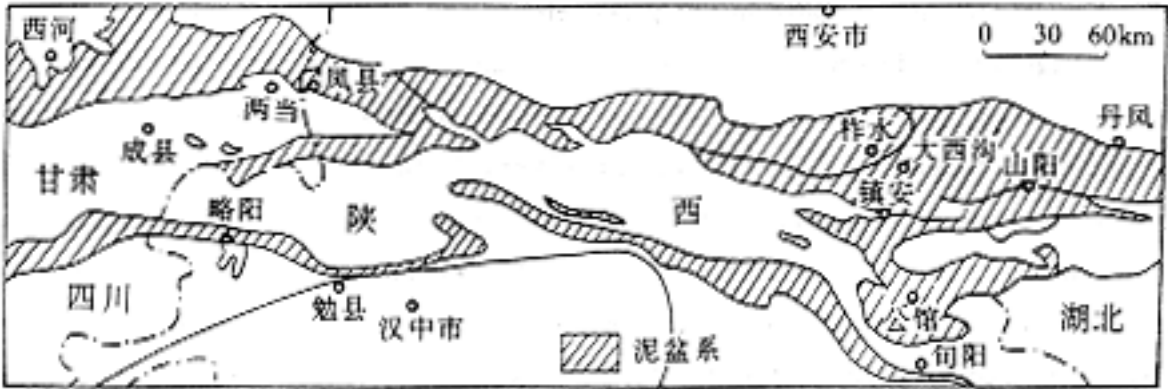


图1 秦岭地区泥盆系分布略图

研究区位于秦岭这一典型的复合型大陆造山带内，构造及岩浆活动发育，主体构造线呈近东西向和北东向，以断裂构造为主，深大断裂主要有商丹断裂、礼县—凤镇—山阳断裂及镇安—板岩镇断裂等。秦岭地区岩浆岩广泛发育，中生代以来的岩浆活动，沿着几条深断裂侵入于泥盆系中，特别是在礼县—山阳断裂的上盘，印支—燕山期的复式岩体大面积分布。由于泥盆系被这些广泛分布的印支—燕山期中酸性岩体侵入，构造岩浆活动、区域动力变质和岩浆的热接触作用为金的成矿作用提供了有利的条件。

泥盆系主要是一套浅变质岩系，其各统之间为连续沉积，与区内石炭系多为整合接触，局部为断层接触。中泥盆统及上泥盆统下部是泥盆系的主要产金层位，由一套滨海相的泥砂质夹碳酸盐组成的复理石、类复理石沉积建造组成。在秦岭造山带发展演化过程中，区内泥盆系在扩张裂陷环境下，因受北东向同生活动断裂的控制，由东而西形成了凤太、柞山、镇旬及板沙四大沉积盆地，它们分别对应着区内凤太、柞山、镇旬和板沙4个多(贵)金属矿田。盆地的形成发展及造山演化与这些矿田中金矿床的形成关系密切。

1.2 区域地球物理场特征

区内岩石磁性极不均匀，泥盆系地层整体磁性较弱而不均匀。但中、上泥盆统地层剩余磁化强度和磁化率较大(表1)。这与物质来源(如铁磁性物质)和沉积环境(沉积古地理环境多为海盆斜坡和陆缘海盆斜坡带)有关。且泥盆系地层岩石的磁化率和剩余磁

化强度比上覆石炭系地层的大，而比下伏志留系地层的小，这为应用磁异常标志寻找泥盆系中的含金层位提供了物性基础。

表1 泥盆系地层磁性及密度参数

地层		磁 性							密 度				备注
		样数	M _r /(10 ⁻³ A·m ⁻¹)			I/(4 π × 10 ⁻⁶ SI)			样数	ρ/(g·cm ⁻³)			
			最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值		最小值	最大值	平均值	
泥盆系	上统	149	0	89	3	0	923	21	157	2	3	2.71	凤县、柞水
	中统	41	0	198	24	0	919	108	41	1.8	2.8	2.75	
	下统	104	0	198	7	0	919	30	116	2	3	2.68	凤县、柞水
中酸性岩体		159	0	680	56	0	1960	492	183	2	3	2.67	

区内泥盆系地层中岩石密度一般在1.8 ~ 3.0 g/cm³范围内变化，多数岩石为中等密度(2.4 g/cm³左右)。垂向上自浅而深，从地表松散沉积层 沉积岩层 浅变质基底 结晶基底，密度由低到高，磁性由弱到强。泥盆系岩石密度比上覆地层的大，比下伏地层的小。

区域磁场具双层磁结构，即浅层复杂局部异常叠加在深部区域低磁异常上(图2)，这与区内物质具双层分布的结构特征相对应，即浅层为磁性密度层，包括岩浆岩体(带)、岩脉和磁性物质(磁铁矿、磁黄铁矿及磁铁矿化等)；深层为磁性基底。区内航磁异常走向与构造线方向基本一致，很好地反映了与金矿有关的热变质蚀变带、构造岩浆岩带及断裂破碎带等，低(负)磁场区与金矿的分布区基本吻合。

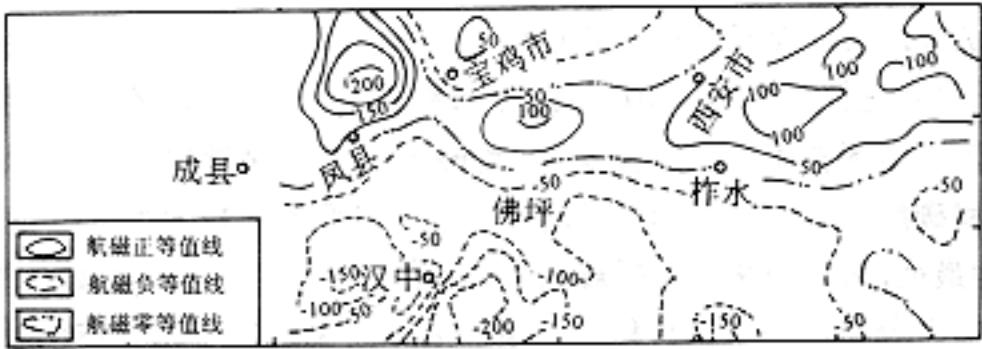


图2 T化向磁极后上延10 km等值线
航磁等值线单位为nT

区域重力场呈狭长带状东西分布，区内东部为高值区而西部为低值区，南北向呈南北两侧高而中间低的“槽型”起伏，为一负值场。相对低值区(带)与区内深大断裂基本对应，亦间接反映了受断裂控制的金矿田的宏观分布(图3)。

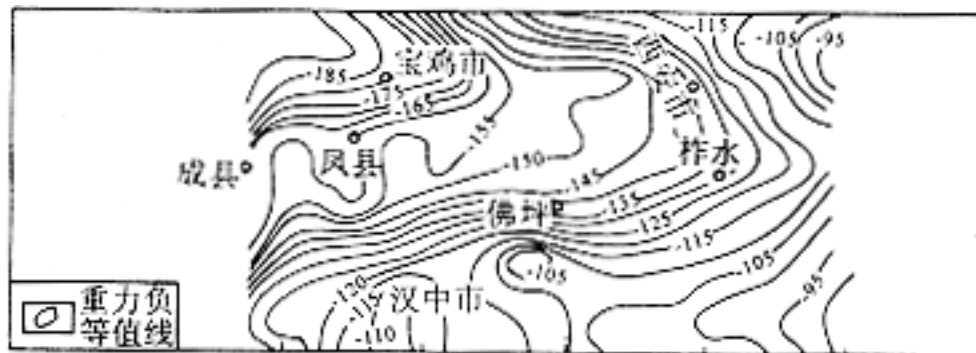


图3 布格重力异常上延10 km等值线
重力等值线单位为 $\times 10^{-5} \text{ m/s}^2$

区域地球物理场在区内4个矿田上表现出不同的特征，即凤太矿田上地球物理场表现为条带状或等轴状重力高和低缓的航磁异常；柞山矿田上表现为线状高值磁异常和低值重力异常；镇旬矿田表现为低缓的正负航磁异常及重力梯度带；板沙矿田表现为高值磁异常和渐变的重力梯度带。

1.3 区域地球化学场特征

区域地球化学场主要是由基底岩系成分(含矿性)特征决定的(耿树方, 1982)，包括秦岭在内的整个秦巴地区是在富含Au, Fe成矿元素的统一基底变质岩系基础上发展演化的，故Au在区内具明显的继承、迁移、分异特点，表现在区内地球化学场具明显的分区、分带性和叠加性。柞山地区的泥盆系主要为陆缘碎屑沉积物，以富 SiO_2 和Be, Co, Ni, Cu, Pb, Zn等成矿元素为特征；凤旬地区的泥盆系主要为碳酸盐台地型沉积物，以富MgO, CaO, Ag, Au为特征。且区内断裂带与地球化学场关系密切，在中秦岭及其南缘，由于礼县—凤镇—山阳同生活动断裂带的存在，造成Pb-Zn, Au(Ag, Cu)等成矿元素地球化学场的叠加；Pb, Zn, Au, Cu元素背景值较高，断裂带两侧Au元素背景值分别为 3.4×10^{-9} 和 5.3×10^{-9} ，形成了泥盆系Pb-Zn, Au等重要矿床；在南秦岭，由于凤县—镇安断裂带的存在，造成Hg, Sb, As丰度值增高，形成了泥盆系Hg, Sb, As成矿带，有的伴生Au。总体而言，北秦岭地区，Au, Bi, Cu, Sb为高背景含量元素，南秦岭西段Au, Pb, Zn为高背景含量元素。总体上，区内泥盆系地层及主要岩石中金元素含量虽然呈低于地壳克拉克值(4×10^{-9})的分布趋势，但不同地段不同岩组及不同层位仍有局部浓集，如古道岭地区古道岭组结晶灰岩、粉砂岩平均金含量均大于 13×10^{-9} 。区内金在碎屑岩、泥质岩和碳酸盐岩中的平均含量均高于造山带两侧克拉通缘区沉积岩中的含量，且以南秦岭的含量为最高，对于南秦岭包括震旦系在内的沉积盖层而言，泥盆系是Au的富集层之一。另外，在泥盆系分布区的水系沉积物中金元

素主要呈对数正态分布^①，反映了区域背景含量的分布形式，其拖尾部分是后期构造变形和热液活化改造富集影响所致，说明作为水系沉积物来源的泥盆系存在金矿化作用，是成矿有利部位。区域地球化学场在区内4个矿田上也均有不同程度的矿田晕显示。

2 主要金矿床地球物理地球化学异常特征

近年来在秦岭泥盆系先后发现了不少大、中型金矿床(如双王、二台子、八卦庙、丘岭金矿床等)，显示了该地层找金的巨大潜力。据陕西省地矿局统计，目前秦巴地区泥盆系已发现金矿床12个，这些金矿主要赋存于中泥盆统和上泥盆统下部，如上泥盆统星红铺组、下东沟组和中泥盆统古道岭组、青石垭组、池沟组等，均有已知金矿床产出。至今在区内已发现的金矿床类型包括石英脉型(含碳酸盐脉)，如铁神沟金矿床；构造蚀变岩型，如凤县庞家河金矿床等；钠长石碳酸盐角砾岩型，如双王(凤太矿田)、二台子(镇旬矿田)金矿床等；泥质粉砂质岩变形变质带中的卡林型，如八卦庙、马鞍桥(板沙矿田)、丘岭、金龙山、金洞沟、米粮、双庙、惠家沟、太白庙、谭家沟等金矿床；斑岩型，如磨石沟金矿床(点)等。其中以卡林型和钠长石碳酸盐角砾岩型为主，发现金矿床最多。对这两种主要类型金矿床的地球物理、地球化学异常特征分析总结如下。

2.1 地球物理异常特征

区内金矿床产出地段航磁异常(1 20万航磁 T异常)，多呈东西向、北东向分布的线条状高值异常带或梯度带，强磁异常向弱磁异常的过渡带，异常走向的变化带或几组不同走向异常的交汇、错动及扭曲；重力异常(1 50万布格重力异常)，表现为重力梯度带、正负异常过渡带，伴有磁异常的重力变化带或有重力异常零值线所围绕的低值异常区。地面磁法多表现为高的磁异常，电阻率异常为低值；地热异常表现为高热流值向低热流值的过渡等。如镇安二台子金矿床就具有高的航磁异常而重力呈梯度带变化的特征，矿床上的磁异常是矿床内磁性矿物以及与矿床密切相关的岩体、热液及热变质蚀变带等的反映，而重力异常则反映了控制金矿床分布的区域断裂构造。

2.2 地球化学异常特征

对于区内主要金矿床，在1 20万区域化探异常图上，不同的金矿类型具有不同的异常元素组合，卡林型金矿异常元素组合主要为Au-Hg-Sb-As，有时伴有Ag，Pb；钠长石碳酸盐角砾岩型(双王型)金矿多为Au-Sb-Cu-Pb-Zn-Mo等。主成矿元素一般为Au，As，Ag等，且异常强度高，面积大；在1 5万化探分散流异常图上，Au异常增强，且具浓集中心，异常形态规整，与岩体、地层关系明显，常伴生Mo，Ba，Bi或Cu，As，Co等元素异常。地表土壤地球化学异常(次生晕)仍为Au，As，Hg，Sb或Au，Ag，Mo，Pb等元素异常，且各元素异常多重合，异常集中，基本指示了矿体所在位置，而且异常分带明显。Au，Ag，As异常两侧多发育Ba，Mo，Sb或Sb，Hg，W异常，同时金矿床的原生晕异常均发育。如镇安二台子金矿床异常元素组合为Au-Hg-Sb-Cu-Pb-Zn等，Au，Cu，As有明显的浓集中心，异常呈条带状，原生异常强度大，水平分带明显。宏观上，具一定剥蚀程度的近地表浅部矿床，其异常具面式分带特点，而有一定埋深的矿床其异常一般不具这种特点。

从目前区内已知金矿床和矿点的分布来看，绝大多数都有异常显示。统计表明，具一定规模的金矿床，均位于以 2.9×10^{-9} 圈定的规模巨大的高背景值区内，金矿床的具体位置无一例外地处于高背景值区内以 5.6×10^{-9} 圈出的局部异常中，且这些异常的

面积与矿床的规模呈正相关关系，同时含矿断裂中金的地球化学异常值常大于 50×10^{-9} 。钠长石碳酸盐角砾岩型金矿严格受角砾岩带(体)控制，区内初步圈定的13个含金角砾岩带中As, Sb, Ag, S明显富集，分布不均匀，Bi元素变化与Au完全一致，反映了这些元素与金矿化关系密切。

3 成矿规律和找矿标志

在对区内已知主要金矿床进行综合研究后，结合区内特有的地质构造特征，总结出区内金矿的一般成矿规律，并在此基础上提出陕西秦岭泥盆系金矿的综合找矿标志。

3.1 成矿规律

1. 泥盆系中产出的金矿均为层状、脉状、透镜状等受后期原地热液改造的层控型矿床，且断裂、褶皱构造控矿的特征明显，均受礼县—凤镇—山阳深大断裂带的控制，已知金矿床都位于其附近，且多产于断裂旁侧近东西—北西西向次级断裂或裂隙带中。金矿体常赋存于矿源层内或附近，并与穿越矿源层的断裂体系形影相随。韧性剪切带、层间挤压破碎带及不同方向构造交汇处(如近EW向断裂与NE向断裂的交汇)为金矿产出的有利部位。

2. 凤太、柞山、镇旬及板沙4个沉积盆地内，受深部热流和区域动力影响的变质作用、构造岩浆岩活动、环形构造、基底构造及同生活动断裂与金矿床的形成关系密切，矿体的就位均受贯穿热水活动的同沉积断裂构造和相对稳定滞流的局限盆地控制。岩相更替、沉积相与地球化学相发生转变的层位为有利成矿层位。

3. 区内成矿具专属性和分带性。在礼县—凤镇—山阳断裂带北侧为Au, Cu矿带，南侧为Au, Hg, Sb, Ag矿带，中间部位为Pb, Zn, Au, Ag矿带。金是热液中易活动元素，在有利的地质及物理—化学条件下，经过多期富集叠加，在南、中、北3个矿带内均形成矿床，且很少伴生独立的多金属矿体，这与其他成矿元素(如Cu, Pb, Zn等)显著不同。成矿带内已知金矿床多出现在铅锌矿田边部，两者在空间上关系不明显，但有一定成因联系，

4. 区内金矿经历了多期次、多来源的成矿作用，成矿深度较浅，成矿温度一般低于300℃，成矿溶液多为还原的低盐度低氯流体，代表其主要成因为地下热液喷(渗)流沉积叠加后期改造的特征。

3.2 找矿标志

在以上研究的基础上，对区内金矿的综合找矿标志归纳如表2。由于金矿位于一定的地质构造环境中，具有特定的矿物共生组合，这决定了地球物理异常对金矿床的间接指示作用，在区内只有物源、热源富足，活化能充分，又有构造变动提供动力和运矿、容矿空间，才能使得金活化、迁移富集成矿，这决定了地球化学异常对金矿床的直接指示作用。总之，有利的地质构造为金矿床的形成既提供了深部丰富的物质来源，也为金的成矿热液提供运移通道和良好的贮矿场所及地球化学障，因此，成形金矿床必伴有反映构造空间展布的地球物理场标志和反映物质成份差异的地球化学场标志。从表2看出地球物理标志指示金矿床的定位构造，地球化学标志反映其成晕成矿地段，而这几种不同标志的叠合乃是最佳找矿模式。工作中，依据总结出的综合找矿标志，在区内4个矿田中进行找矿预测并取得了较好的效果，这里不作详述。

表2 陕西秦岭泥盆系金矿床找矿标志

找矿标志		找矿标志特征
地质	地层	泥盆系中、上统
	构造	NE，EW向断裂交汇部位及深大断裂两侧次级构造发育部位；深大断裂与隆起构造的套合区
	岩石组合	钠长石碳酸盐角砾岩、不纯碳酸盐岩或含炭富泥质的细碎屑岩
	围岩蚀变	黄铁矿化、硅化、碳酸盐化、钠长石化、白云石化等或不同组合及分带
	矿物组合	黄铁矿—毒砂—辉锑矿—石英—自然金或黄铁矿—钠长石—自然金等
	载金矿物	黄铁矿、石英、自然金、银金矿、碲金矿等
地球物理	航磁	原平面 T异常显示磁力高或梯度带
	重力	原平面重力布格异常显示重力低，梯度带或正负重力异常变异带
	地面电法	自电异常为负值，低的电阻率异常，较好的激电异常
	地热	热地幔隆起与裂陷(谷)结合，热源体发育，地热流值在40～60 mW/m之间，热梯度变化大
地球化学	分散流	高Au和高Au晕及伴生As，Sb，Bi等元素异常区或重合部位，浓度梯度变化大，异常面积较大
	原生晕	地表Au，Ag，As异常发育，具水平分带或环状分带
	矿床指示元素	Au，Ag，As，Sb，Ba组合或Au，As，Hg，Sb，W，Mo组合
	矿体元素组合	Au，Ag，As，Bi或Au，Hg，Sb，As或Au-Cu等

4 结论与讨论

通过对陕西秦岭泥盆系内主要金矿床的综合研究，更加明确了区内金矿的成矿条件、成矿规律及找矿标志。本次研究成果对于区内下一步找金具有一定的指导意义，但也有一些问题尚待进一步探讨。总体上可概括为以下两点初步结论。

1.区内金矿具明显层控性质，泥盆系沉积盆地的边缘或斜坡部位为成矿有利部位。金矿床与构造关系密切，多受短轴背斜和高角度断裂带控制，构造活动为金矿成矿提供空间，为金的成矿作用提供热能，形成热液，吸取成矿物质而形成矿体。

2.区域地球物理场从更深的层次上反映了金成矿的构造背景(如断裂、构造活动等)，区域地球化学场揭示了金成矿的地球化学背景(如成矿物质来源、成矿的物理化学条件、成矿作用导致地球化学场的叠加等)。区内主要含金岩系在不同程度上具有金元素的初始浓集，这种初始浓集为后期热液改造成矿提供了重要条件。因此，这也说明化探与综合物探方法相结合应是区内金矿勘查的有效途径。

同时为了更好地评价异常，建立区内找矿模型及综合预测系统，金的赋存状态与矿床地球物理、地球化学异常的关系问题尚需深入探讨，以便更有效的进行找矿预测。

笔者在编写《秦岭泥盆系(陕西段)多(贵)金属矿床综合研究及找矿预测》科研报告的基础上撰写此文，曾得到同事及导师欧阳建平教授、蒋敬业副教授等指导，在此表示感谢!

①中国有色金属工业总公司西北有色地质勘查局资助

①陕西省地矿局1:20万化探异常资料, 1987~1990

作者简介 王瑞廷, 男, 1969年生。1992年毕业于桂林冶金地质学院勘查地球物理系。曾在中国有色金属工业总公司西北有色地质勘查局从事物探和化探工作。现为中国地质大学研究生院地球化学专业硕士研究生。

作者单位: 王瑞廷 (中国地质大学研究生院, 武汉 430074)

参 考 文 献

- [1] 涂光炽, 霍明远, 等. 金的经济地质学. 北京: 科学出版社, 1991
- [2] 杜定汉, 等. 陕西秦巴地区泥盆系研究. 西安: 西安交通大学出版社, 1986
- [3] 耿树方, 等. 秦巴金属矿产成矿概论. 北京: 地质出版社, 1994
- [4] 张本仁, 等. 秦巴岩石圈构造及成矿规律地球化学研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994
- [5] 张理刚. 成岩成矿理论与找矿. 北京: 北京工业大学出版社, 1989
- [6] 李泽九, 陈德兴, 等. 陕西省柞水—山阳成矿带地球化学及地球化学找矿方法研究. 见: 勘查地球物理勘查地球化学文集 (第9集). 北京: 地质出版社, 1989
- [7] 赵中和. 陕西双王金矿床地质—地球化学找矿模型. 见: 中国主要类型金矿床找矿模型论文集. 北京: 地质出版社, 1996
- [8] 晁源, 徐克勇. 秦巴地区岩金矿的富集规律. 见: 秦巴金矿论文集. 北京: 地质出版社, 1993
- [9] 李文亢, 等. 秦岭东部微细金矿找矿条件. 北京: 地质出版社, 1993
- [10] 祁恩敬, 等. 秦岭泥盆系铅锌成矿带. 北京: 地质出版社, 1993
- [11] Boyle R W. The geochemistry of Gold and its deposits. Bull can, 1979
- [12] Maynard J B. Geochemistry of sedimentary ore deposits. New York, 1983

1997年12月8日收稿, 次年5月5日收修改稿。